6B

УДК 621.431.74

Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, Ю.Н. Кучеренко, А.И. Головань
Одесский национальный морской университет
Украина, 65029, г. Одесса, ул. Мечникова 34

Комплексный контроль технического состояния судового двигателя с турбонаддувом

R.A. Varbanets, V.G. Ivanovsky, Y.N. Kucherenko, A.I. Golovan
Odessa National Maritime University
Ukraine, 65029, c.Odessa, Mechnikova st. 34

Monitoring of Marine Turbo Diesel Engine Technical Condition

Р.А. Варбанець, В.Г. Івановський, Ю.М. Кучеренко, А.І. Головань
Одеський національний морський університет
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечнікова 34

Комплексний контроль технічного стану суднового двигуна з турбонаддувом

В статье анализируются структура и характеристики разрабатываемого модуля удаленного контроля частотных характеристик судового двигателя с газотурбинным наддувом (СДВС). Модуль предназначен для непрерывного дистанционного контроля частоты вращения коленчатого вала (КВ) и частоты вращения ротора газотурбонагнетателя (ГТН), а также комплексных характеристик технического состояния СДВС: разности цилиндровых мощностей и величины остаточного небаланса вибрации ротора ГТН. Принцип работы модуля основан на анализе спектральных характеристик виброакустических сигналов комбинированного двигателя. В модуле реализуется процедура БПФ и численно решается задача устранения эффекта «утечки», возникающего в результате дискретного преобразования Фурье.
Ключевые слова: судовой дизель, диагностика, спектральный анализ.

The article analyzes the structure and characteristics of the developed module remote control properties with the turbocharged engine. This module is designed for continuous remote monitoring of engine speed and turbocharger rotor speed, as well as integrated control the residual vibration of the rotor unbalance and unbalance of cylinder engine capacity. The principle of operation of the module is based on the analysis of the spectral characteristics of vibro-acoustic signal of the combined engine. The module is implemented by the FFT procedure and numerically the problem of eliminating the effect of “leakage” resulting from the discrete Fourier transform is solved.
Key Words: marine diesel, diagnosis, spectral analysis.

У статті аналізуються структура і характеристики модуля віддаленого контролю частотних характеристик ДВЗ з газотурбінним наддувом. Модуль призначений для безперервного дистанційного контролю частоти обертання колінчастого вала і частоти обертання ротора газотурбонагнітача, а також комплексного контролю величини залишкового небалансу вібрації ротора турбіни і небаланса циліндрових потужностей двигуна. Принцип роботи модуля заснований на аналізі спектральних характеристик віброакустичних сигналів комбінованого двигуна. У модулі реалізується процедура БПФ і чисельно вирішується завдання усунення ефекту «витоку», що виникає в результаті дискретного перетворення Фур’є.
Ключові слова: судновий дизель, діагностика, спектральний аналіз.

Введение

С внедрением на флоте технологий интернет-мониторинга технического состояния энергетических установок стал актуальным вопрос непрерывного постоянного контроля их основных параметров независимо от штатных приборов. Большинство главных судовых дизелей (СДВС) оборудованы тахометрами для определения частот вращения коленчатого вала и ротора ГТН. Датчики тахометров непосредственно связаны с коленчатым или распределительным валом двигателя и валом турбины наддува. Принцип действия датчиков различен – оптические, индуктивные, датчики Холла и др. Они осуществляют непосредственное измерение частот вращения указанных объектов. Сигналы от тахометров выведены на панель приборов центрального поста управления и в систему аварийно-предупредительной сигнализации. Поскольку эти частотные параметры являются основными характеристиками эксплуатируемого двигателя, всю схему измерения заверяет выбранное судовладельцем сертификационное общество (Регистр) [1]. Использовать гальваническое присоединение в регистровую схему измерения для передачи информации во внешние контролирующие устройства в большинстве случаев запрещено. Поэтому в качестве альтернативы непосредственным измерениям предлагается использовать виброакустический способ определения частот вращения КВ и ГТН с помощью методов спектрального анализа. Кроме частотных характеристик в спектрах виброакустических сигналов содержится диагностическая информация, позволяющая производить комплексный анализ технического состояния СДВС и ГТН.

Виброакустический метод определения частот вращения двигателя и газотурбонагнетателя СДВС

На судовых дизельгенераторах в отличие от главных дизелей в большинстве случаев не устанавливаются тахометры турбин наддува и виброакустический контроль частоты их вращения является удобным для практического применения методом. С помощью методов спектрального анализа на базе быстрого преобразования Фурье (БПФ) и последующего численного решения задачи устранения «утечки» в дискретном спектре можно снизить погрешность измерения частотных характеристик комбинированного судового дизеля. Главной целью применения такого метода является непрерывный дистанционный контроль частот КВ и ГТН в задаче online-мониторинга режимов работы судовых дизелей и возможность проверки показаний штатных приборов.



Рисунок 1 – Спектр звукового сигнала компресора ГТН главного дизеля 6L80MCE

В [2] было показано, как с помощью амплитудного спектра виброакустического сигнала ГТН определить частоту вращения ротора турбины. Анализ литературы [1-5] показывает, что в спектре виброакустического сигнала ГТН максимальная гармоника находится на лопаточной частоте воздушного компрессора (частота вращения ротора умножить на количество лопаток компрессора, рис. 1).

Анализ рис. 1 показывает, что необходимо вводить ограничения на поиск максимальной гармоники, соответствующей лопаточной частоте ГТН. Для этого необходимо знать частоту вращения ротора ГТН на номинальном режиме и количество лопаток компрессора. Так, для малооборотного главного судового дизеля (МОД) 6L80MCE частота вращения ротора турбины на номинальном режиме равна 9000 rpm. Тогда ожидаемая частота лопаточной гармоники на номинальном режиме:

$$Fq(к) = 9000\ rpm / 60 * 20 = 3000\ Гц.$$

Минимально и максимально возможные частоты вращения ГТН и, соответственно, частоты генерируемых сигналов можно принять следующими:

$$min \to 6000\ rpm / 60 * 20 = 2000\ Гц;\ max \to 15000\ rpm / 60 * 20 = 5000\ Гц;$$

На рис. 1 видно, что в указанном диапазоне существует только один четко выраженный максимум. Зафиксированная по спектру сигнала частота вращения ротора ГТН (в рамках принятых ограничений) составила:

$$TUR\ rpm = 2948\ Гц / 20 * 60 = 8844\ rpm.$$

Анализ литературы [1-5] и проведенные натурные испытания показывают, что в спектре виброакустического сигнала двигателя, в области низких частот (до 100 Гц) выделяется гармоника, соответствующая цилиндровой частоте вибрации корпуса.

Для двухтактных дизелей МОД:

$$Fq\ cyl(2) = rpm / 60 * i\ cyl$$

Для четырехтактных дизелей СОД и ВОД, с учетом одного оборота КВ на рабочий цикл и одного оборота на продувку цилиндра:

$$Fq\ cyl(4) = (rpm / 60 * i\ cyl) / 2$$

В связи с дискретным представлением сигнала в спектре появляется несколько кратных гармоник и в этом случае обязательно необходимо вводить ограничения «сверху» и «снизу» на поиск цилиндровой гармоники. Алгоритм формирования ограничений очевиден: вычисляется в герцах минимальная и максимальная возможные цилиндровые частоты, исходя из частоты вращения КВ на номинальном режиме. Так, для дизельгенератора Sulzer 8AL25/30, работающего по нагрузочной характеристике, частота вращения поддерживается равной 750 rpm.

$$Fq\ cyl = (750 / 60 * 8) / 2 = 50\ Гц\ (рис.\ 2)$$

С учетом максимально возможного кратковременного отклонения частоты не более ±5% на рис. 2 показаны ограничения для поиска цилиндровой гармоники.

Испытания дизельгенератора были проведены на 4 нагрузочных режимах: 240, 280, 320 и 350 кВт. В спектре сигнала были определены цилиндровые и лопаточные гармоники, с последующим уточнением их амплитуды и частоты путем устранения эффекта «утечки» в дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). В результате были построены графики зависимости частот вращения КВ и ГТН от нагрузки в исследованном диапазоне (табл. 1, рис. 3, i cyl = 8, i лопаток ГТН = 20).

RPM(кв) = 60 * Fq(ц)*2 / i cyl (4-тактн.)
RPM(кв) = 60 * Fq(ц) / i cyl (2-тактн.)
RPM(кв) = 60 * Fq(л) / i лопаток

Таблица 1 – Испытания дизельгенератора

N, кВт	Fq(ц)	RPM (КВ)	Fq(л)	RPM (ГТН)
240	51,7	775,5	3508	10524
280	51,6	774	3717	11151
320	51,6	774	3950	11850
350	51,5	772,5	4045	12135

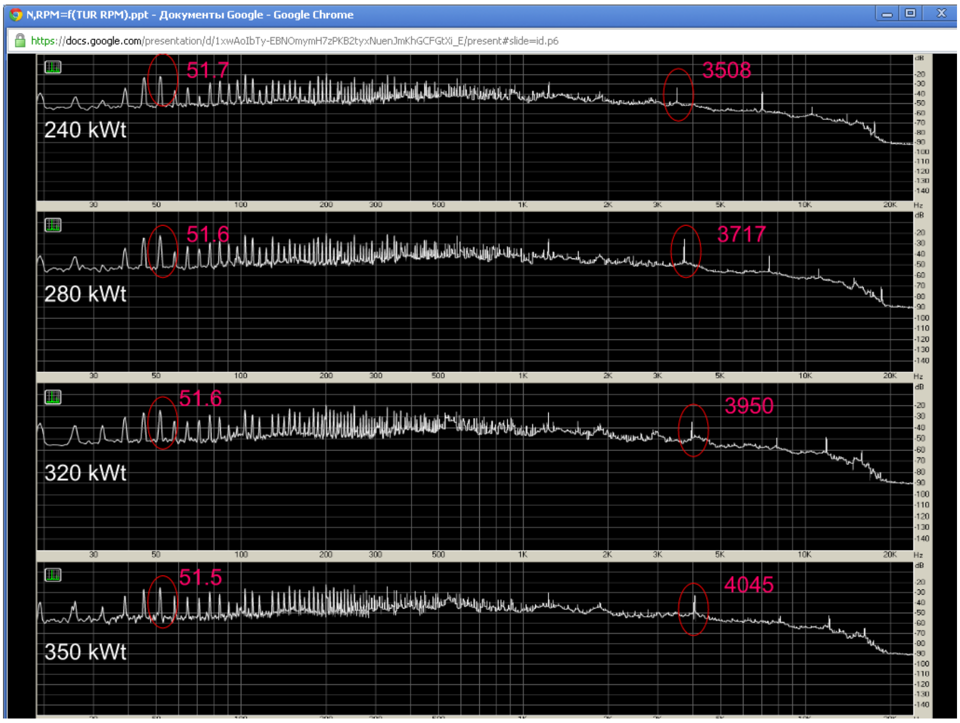


Рисунок 2 – Спектр звукового сигнала дизельгенератора СОД 8AL25/30
на нагрузочных режимах 240, 280, 320, 350 кВт

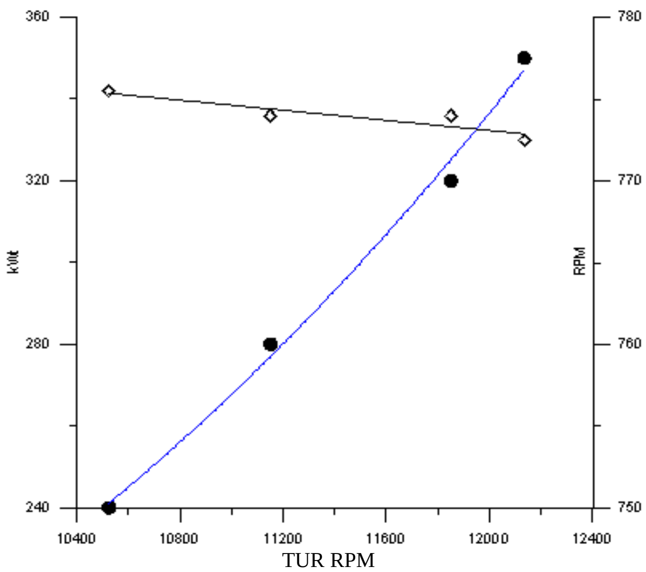


Рисунок 3 – Мощность 8AL25/30 и частота вращения КВ
в зависимости от частоты вращения ГТН

Необходимо отметить, что статическая характеристика регулятора частоты вращения дизеля 8AL25/30 имеет наклон, который можно численно оценить. Это видно по уменьшающейся частоте вращения при увеличении нагрузки генератора. Зависимость мощности от частоты вращения ГТН, в выбранном диапазоне нагрузок, слабо квадратичная и, можно сказать, почти линейная.

Устранение эффекта «утечки»

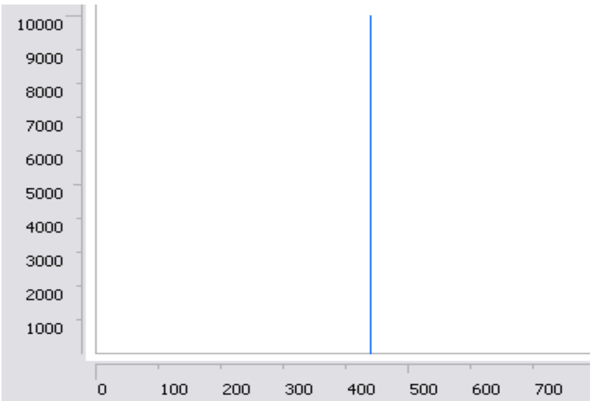
В процессе анализа дискретного спектра виброакустических сигналов для оценки их частотных и амплитудных характеристик приходится решать задачу устранения эффекта «утечки». Этот эффект является следствием конечности анализируемой временной реализации и ее дискретного представления через АЦП. В качестве примера на рис. 4 представлены амплитудные спектры одного и того же синусоидального сигнала (А = 10000 ед.) с целым (а) и нецелым (б) числом отсчетов на один период сигнала.

Эффект «утечки» или вытекания мощности из спектральных пиков на соседние спектральные линии (рис. 4) считается одной из главных погрешностей дискретного преобразования Фурье. Если частоту сигнала представить в виде

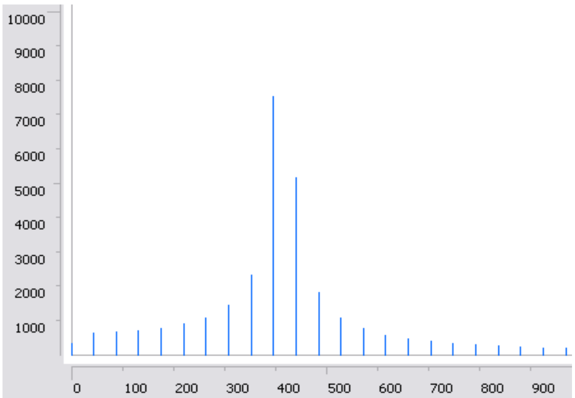
$$\gamma = M/T,$$

где T – период сигнала, а $M = n + \sigma$, где n – целое, а $0 < \sigma < 1$, то максимальные искажения амплитуды, частоты и фазы центральной гармоники и утечка мощности в соседние будет наблюдаться при $\sigma = 0{,}5$ [6].

Таким образом, если анализировать параметры исходного сигнала по его спектру, т.е. по центральной гармонике, то полученные амплитуда, частота и фаза будут искажены в случае нецелого количества отсчетов сигнала на его период. На практике для дискретной записи сигналов используют АЦП с выбранной и зафиксированной частотой дискретизации. Понятно, что число отсчетов на период никогда не будет целым, а значение σ будет меняться от 0 до 1 в зависимости от собственной частоты измеряемого сигнала, при этом будет меняться точность оценки параметров сигнала по центральной гармонике.



а) $\sigma = 0$

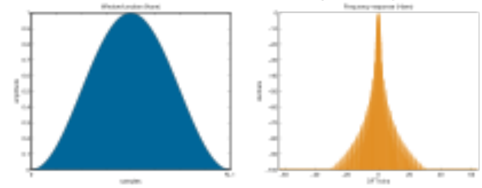
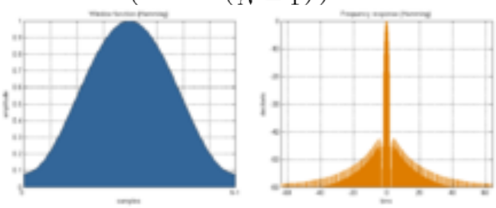
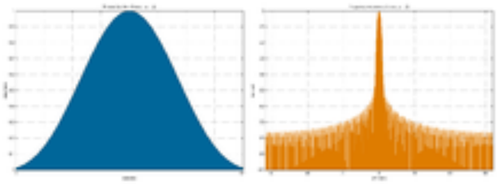


б) $\sigma \neq 0$

Рисунок 4 – Эффект утечки ДПФ

Для уменьшения эффекта «утечки» наиболее широкое распространение получил метод оконных преобразований. Суть метода проста: для уменьшения разрывов на краях ряда с целью ослабления утечки нужно уменьшить амплитуду сигнала возле краев. Такое масштабирование осуществляется в ходе умножения реализации на окно специальной формы $x_i^w = x_i \cdot W(i)$, например:

Таблица 2 – Оконные функции, применяемые для уменьшения эффекта «утечки»

Окно Хемминга	$w(n) = 0.53836 - 0.46164\ \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$ 
Окно Ханнинга	$w(n) = 0.5\ \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right)$ 
Окно Кайзера	$w(n) = \frac{\left\lvert I_0\left(\beta\sqrt{1-\left(\frac{2n-N+1}{N-1}\right)^2}\right)\right\rvert}{\lvert I_0(\beta)\rvert}$ 

В результате применения оконных функций спектр исходного сигнала может сильно исказиться, но при этом уменьшится зависимость амплитуды, частоты и фазы от значения σ. Это значит, что центральную гармонику x_i^w можно использовать для приблизительной оценки параметров сигнала с некоторой постоянной погрешностью, которую можно учесть. Точнее можно устранить эффект «утечки» численным методом, основанным на обработке комплексных результатов ДПФ. В [6] предложено уточнить частоту *m*, фазу *φ* и амплитуду *A* исходного сигнала по значениям двух максимальных гармоник в спектре X_k, X_{k+1}. Для этого предлагается численно решить систему комплексных уравнений:

$$\begin{cases} \left|Z(m,\varphi)_k / Z(m,\varphi)_{k+1}\right| = \left|X_k / X_{k+1}\right| \\ Arg(Z(m,\varphi)_k) = Arg(X_k) \end{cases}, \qquad (1)$$

где параметры *k*-й гармоники:

$$X_k = \mathrm{Re}_k + j\,\mathrm{Im}_k\,;$$

$$X_k = NA_k e^{j\varphi_k}\,,$$

$$A_k = \frac{1}{N}\sqrt{\mathrm{Re}^2{}_k + \mathrm{Im}^2{}_k}\,,$$

$$\varphi_k = arctg(\frac{\mathrm{Im}_k}{\mathrm{Re}_k}) = Arg(X_k)\,.$$

Коэффициенты гармоник можно представить в виде: $X_k = (A_k/2)Z(m,\varphi)_k$, где $Z(m,\varphi)_k$ – комплексная функция, не зависящая от амплитуды, но зависящая от частоты и фазы:

$$Z(m,\varphi)_k = e^{j\varphi}\frac{e^{2\pi j(m-k)} - 1}{e^{\frac{2\pi j(m-k)}{N}} - 1} + e^{-j\varphi}\frac{e^{-2\pi j(m+k)} - 1}{e^{\frac{-2\pi j(m+k)}{N}} - 1}\,.$$

Систему уравнений (1) нужно решать в том случае, если гармоники слева и справа от центральной не равны нулю (больше заданной малой величины δ, рис. 4б):

$$X_{k-1} > \delta, X_{k+1} > \delta .$$

Если $X_{k-1} = 0, X_{k+1} = 0$, то эффект утечки отсутствует, и частота, амплитуда и фаза центральной гармоники соответствуют параметром измеряемого исходного сигнала.

Авторами была решена представленная выше система двух комплексных уравнений (1) и написана программа, демонстрирующая решение проблемы. В первую очередь, необходимо было записать выражения для действительной и мнимой частей комплексной функции $Z(m,\varphi)_k$:

$$\mathrm{Re}_{Z(m,\varphi)} = \frac{Y_1 + Y_2}{D_1} + \frac{Y_3 + Y_4}{D_2},$$

$$\mathrm{Im}_{Z(m,\varphi)} = \frac{Y_5 + Y_6}{D_1} + \frac{Y_7 + Y_8}{D_2},$$

где

$$D_1 = \left(\cos\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right)^2 + \sin\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right)^2,\ D_2 = \left(\cos\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right)^2 + \sin\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right)^2,$$

$$Y_1 = (\cos(\varphi)(\cos(-2\pi m + 2\pi k) - 1) + \sin(\varphi)\sin(-2\pi m + 2\pi k)) \times \left(\cos\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right),$$

$$Y_2 = (-\sin(\varphi)(\cos(-2\pi m + 2\pi k) - 1) + \cos(\varphi)\sin(-2\pi m + 2\pi k)) \times \sin\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right),$$

$$Y_3 = (\cos(\varphi)(\cos(2\pi m + 2\pi k) - 1) - \sin(\varphi)\sin(2\pi m + 2\pi k)) \times \left(\cos\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right),$$

$$Y_4 = (\sin(\varphi)(\cos(2\pi m + 2\pi k) - 1) + \cos(\varphi)\sin(2\pi m + 2\pi k)) \times \sin\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right),$$

$$Y_5 = (\sin(\varphi)(\cos(-2\pi m + 2\pi k) - 1) - \cos(\varphi)\sin(-2\pi m + 2\pi k)) \times \left(\cos\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right),$$

$$Y_6 = (\cos(\varphi)(\cos(-2\pi m + 2\pi k) - 1) + \sin(\varphi)\sin(-2\pi m + 2\pi k)) \times \sin\left(-\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right),$$

$$Y_7 = (-\sin(\varphi)(\cos(2\pi m + 2\pi k) - 1) - \cos(\varphi)\sin(2\pi m + 2\pi k)) \times \left(\cos\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right) - 1\right),$$

$$Y_8 = (\cos(\varphi)(\cos(2\pi m + 2\pi k) - 1) - \sin(\varphi)\sin(2\pi m + 2\pi k)) \times \sin\left(\frac{2\pi m}{N} + \frac{2\pi k}{N}\right).$$

Аргумент комплексной функции $Z(m,\varphi)_k$:

$$Arg(Z(m,\varphi)) = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}_{Z(m,\varphi)}}{\mathrm{Re}_{Z(m,\varphi)}}\right)$$

Модуль комплексной функции $Z(m,\varphi)_k$:

$$|Z(m,\varphi))| = \sqrt{(\mathrm{Im}_{Z(m,\varphi)})^2 + (\mathrm{Re}_{Z(m,\varphi)})^2}$$

Система (1) решается методом итераций. Вначале задается значение $\varphi = Arg(X_k)$ и численно решается первое уравнение системы при одном неизвестном m. Полученное значение m задается во второе уравнение и оно решается относительно φ. Теперь полученное значение φ снова задается в первое уравнение, для получения уточненного значения m, и т.д. Признаком окончания решения будет незначительное на очередной итерации изменение m и φ:

$$\begin{cases} |m_{j-1} - m_j| \langle \varepsilon \\ |\varphi_{j-1} - \varphi_j| \langle \varepsilon \end{cases}.$$

После завершения итераций амплитуда сигнала определяется из соотношения:

$$A_k = Abs(2X_k / Z(m,\varphi)_k)\,.$$

Несмотря на кажущуюся громоздкость системы (1) и необходимость численного итерационного решения составляющих ее уравнений, необходимо отметить, что решается она быстро. Для всех исследованных случаев требовалось не более 5 полных итераций для обеспечения заданной погрешности менее 0,5% по частоте и фазе. На рис. 5 показано решение системы для ситуации сильно выраженного эффекта утечки σ ~ 0,5. В данном случае потребовалось четыре полных итерации системы. Амплитуда и частота восстановлены до заданного в исходном сигнале значения (A1 = 0,8, w1 = 5,0) с точностью до 5-го знака после запятой. При этом амплитуда центральной (максимальной) гармоники в спектре после ДПФ до процедуры восстановления была равна A1’ = 0,521 (ошибка 35%!). Ошибка в оценке частоты исходного сигнала по частоте центральной гармоники тоже может быть значительной. Она зависит от частоты АЦП и частоты исходного сигнала. С увеличением частоты АЦП она будет уменьшаться.

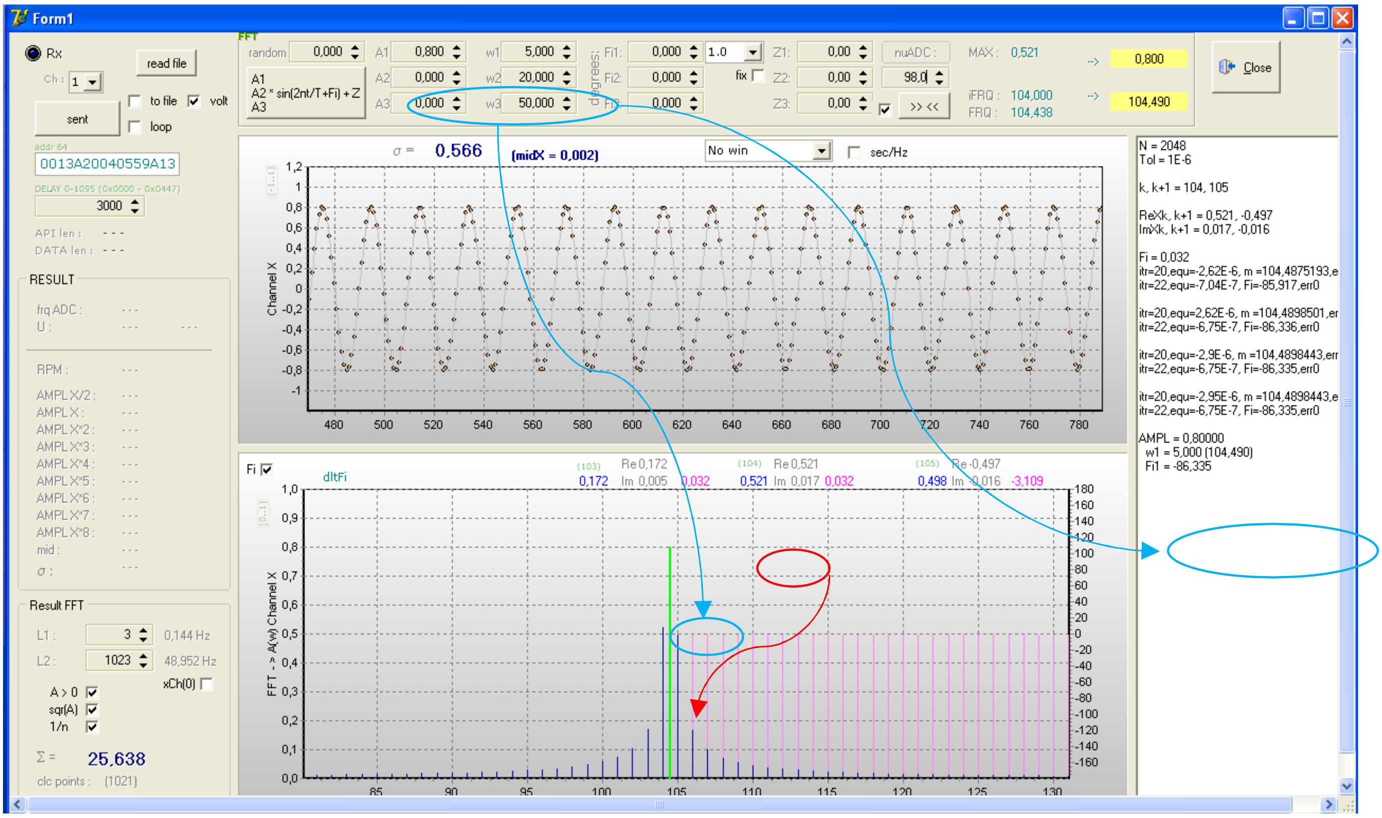


Рисунок 5 – Окно программы демонстрации ДПФ и решения проблемы «утечки»

Решение системы (1) не связано с выделением дополнительной памяти для хранения объемных массивов данных и расчетных коэффициентов, как в случае с БПФ. В связи с этим алгоритм может быть запрограммирован на современном DSP контроллере, реализующем БПФ. Несмотря на итерационное численное решение (1), такая процедура восстановления незначительно увеличит общее время расчета и позволит получить не только спектр сигнала, но и восстановленное значение основной частоты и амплитуды исследуемого сигнала.

Общие характеристики модуля виброакустического контроля параметров судового двигателя с турбонаддувом

Модуль решает задачи определения частоты вращения КВ и ГТН двигателя по восстановленным параметрам дискретного спектра виброакустическоих сигналов двигателя и компрессора ГТН. Модуль работает на базе современного DSP контроллера, который реализует БПФ на базе 2048 точек и устраняет эффект «утечки» ДПФ. В результате кроме частот КВ и ГТН на выходе модуля производится непрерывный контроль амплитуд виброускорений двигателя на цилиндровой частоте и амплитуд виброускорений ГТН на основной частоте вращения. Первые амплитуды характеризуют разбаланс цилиндровых мощностей, а вторые отвечают за общую вибрацию ГТН на основной частоте вращения. Контроль уровня вибрации ГТН на частоте вращения – это комплексный контроль технического состояния ГТН, его подшипников и проточной части по газовой и воздушной стороне [7].

Модуль устанавливается на двигателе в районе ГТН. Настроечные данные и рассчитанные характеристики передаются по последовательному интерфейсу.

Входные сигналы:

1) виброскорость/ускорение блока цилиндров (до 100 Гц, датчик № 1);

2) виброакустический сигнал компрессора ГТН (2 – 20 КГц, датчик № 2).

Выходные параметры:

1) частота вращения КВ двигателя (rpm);

2) амплитуда цилиндровой гармоники (Acyl);

3) частота вращения ГТН (TURrpm);

4) амплитуда гармоники на основной частоте вращения ГТН (A_{TUR});

$$Fq(ГТН) = Fq(лопаточная) / i\ лопаток$$

Настроечные параметры:

1) частота опроса датчика № 1 ($\gamma 1_{adc}$);

2) минимальная RPM двигателя (rpm_{min});

3) максимальная RPM двигателя (rpm_{max});

4) тактность («0» – 2-тактный, «1» – 4-тактный);

5) количество цилиндров (i_{cyl});

6) частота опроса датчика № 2 ($\gamma 2_{adc}$);

7) минимальная RPM ГТН ($TURrpm_{min}$);

8) максимальная RPM ГТН ($TURrpm_{max}$);

9) количество лопаток компрессор ГТН (i);

10) тип применяемых в ДПФ окон («0» – без окон, «1» – Хемминг, «2» – Блэкмен, «3» – Кайзер);

11) метод устранения эффекта утечки («0» – трехточечная аппроксимация [5], «1» – итерационный алгоритм);

12) адреса каналов двигателя и ГТН (ch_{Eng} – первый полубайт, ch_{Tur} – второй полубайт).

Заключение

Виброакустический метод определения частотных характеристик судового двигателя с турбонаддувом имеет ряд преимуществ перед традиционными, предполагающими применение тахометров. В первую очередь это стоимость и простой способ инсталляции. Кроме того, постоянный анализ спектра виброскорости/ускорения блока цилиндров двигателя и ГТН дает возможность анализировать техническое состояние двигателя. Точность определения частот КВ и ГТН, по предварительной оценке, выше точности применяемых на практике тахометров, особенно при определении частоты вращения ГТН. Это объясняется тем, что происходит измерение не самих частот вращения, а частот, кратных количеству цилиндров или лопаток компрессора ГТН. Однако вопрос численной оценки погрешностей предлагаемого метода требует отдельного решения.

Виброакустический модуль определения частотных характеристик не является прямой альтернативой применяемых на практике тахометров, но может быть использован в составе системы непрерывного мониторинга и диагностики судового ДВС.

Литература

1. Возницкий И.В. Контроль и диагностика технического состояния судовых дизелей / Возницкий И.В. – М. : В/О Мортехинформреклама, 1984. – 233 с.
2. Варбанец Р.А. Параметрическая диагностика судовой дизельной энергетической установки в эксплуатации / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, А.И. Головань // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков : «ХАИ», 2011. – № 10(87). – С. 197-202.
3. Варбанец Р. А. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – 2004. – № 2(5). – С. 138-141.
4. Осташенков В.Ф. Теплотехнические испытания судовых дизелей / Осташенков В.Ф. – М. : Транспорт, 1967. – 247 с.
5. Варбанец Р.А. Анализ спектра виброакустических сигналов топливной аппаратуры среднеоборотных дизелей (СОД) / Р.А. Варбанец // Вісник Одеського національного морського університету. – 2006. – № 18. – С. 134-141.
6. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М. : Мир, 1982. – 482 с.
7. Соломатин С.Я. Особенности вибрационнго состояния центробежного компрессора при останове / С.Я. Соломатин, В.Н. Краевский, К.А. Кузьмин // НТиИ Компрессорная техника и пневматика. – Москва, 2012. – № 1. – С. 12-16.
8. RightMark Audio Analyzer [Електронний ресурс]. – Режим доступу : audio.rightmark.org

Literatura

1. Voznickij I. V. Kontrol’ i diagnostika tehnicheskogo sostojanija sudovyh dizelej. M.: V/O Mortehinformreklama. 1984. 233 s.
2. Varbanec R. A. Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. Har’kov “HAI”. 2011. № 10(87). S. 197-202.
3. Varbanec R. A. Dvigateli vnutrennego sgoranija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Har’kov. 2004. № 2(5). S. 138-141.
4. Ostashenkov V.F. Teplotehnicheskie ispytanija sudovyh dizelej. M.: “Transport”. 1967. 247 s.
5. Varbanec R. A. Visnyk Odes’kogo nacional’nogo mors’kogo universytetu. 2006. № 18. S. 134-141.

6. Otnes R. Prikladnoj analiz vremennyh rjadov. M.: Mir. 1982. 482 s.
7. Solomatin S.Ja. NTiI Kompressornaja tehnika i pnevmatika. Moskva. 2012. № 1(2012). S. 12-16.
8. RightMark Audio Analyzer. www.audio.rightmark.org

RESUME

R.A. Varbanets, V.G.Ivanovsky, Y.N. Kucherenko, A.I. Golovan

Monitoring of Marine Turbo Diesel Engine Technical Condition

With the introduction of technology in the fleet power plants technical condition, online monitoring has become a topical issue of permanent continuous monitoring of key parameters regardless of the staff devices. The authors consider an alternative method for determining the crankshaft rotation frequency and the supercharging rpm in the system for marine diesel engine monitoring. The method is based on an analysis of the spectral characteristics of vibro-acoustic signal of the combined engine. Numerically solve the problem of eliminating the effect of “leakage” resulting from the Discrete Fourier Transform. The authors analyze the principle of vibro-acoustic module that implements the procedure of FFT and iterative refinement algorithm for frequency, phase and amplitude of the measured signal. The list of input, output and adjustment parameters of the module is given. The vibro-acoustic method for determining the frequency characteristics of inflatable marine engine has several advantages over traditional, suggesting the use of tachometers. The first is the cost of installation and simple way. Vibro-acoustic determination of the frequency characteristics of the module is not a direct alternative to tachometers used in practice but can be used in the system of continuous monitoring and diagnosing marine diesel engines.

Статья поступила в редакцию 02.07.2012.